

物性理論研究部門

Division of Condensed Matter Theory

物性理論研究部門では、物性研究の最先端分野の理論研究に積極的に取り組んでいる。物性物理学では理論研究が重要な役割を果たしており、マクロからミクロまでのさまざまな階層における理論研究によって、実験結果から新しい物理現象を見出したり、新しい物理現象の予言を行ったりすることが可能となる。物性研究のブレークスルーには、新しい発想に基づく研究が、既存の理論を発展させ予測能力を高めるような継続的な研究に加えて必要不可欠である。本部門は2つの研究室、および、量子物質研究グループ・機能物性研究グループ・附属物質設計評価施設を兼務する6つの研究室から構成される。他部門・施設の理論研究室とともに、解析手法に基づく基礎理論からスーパーコンピュータを用いる大規模数値計算にいたるまで、多様な理論手法を駆使して物性物理における最先端の研究課題に取り組んでいる。また、研究所内外の実験グループとの連携も積極的に進めている。

The Division of Condensed Matter Theory is actively engaged in theoretical research on the cutting-edge topics in condensed matter physics. Theoretical studies play a crucial role in condensed matter physics: those studies at various levels extract new discoveries from experimental results, and novel theoretical predictions also start as well as boost experimental works. For achieving a breakthrough in the condensed matter physics, the research based on novel ideas is essential and indispensable, in addition to continuous research for increasing the predictive power based on existing theories. This division now consists of two groups and six other groups of concurrent members. Together with other theoretical groups, the activity of this division covers various theoretical studies from basic theory based on analytical methods to large-scale state-of-art numerical computation using supercomputers, and actively develops the theory for forefront research subjects in the condensed matter physics. Discussions and collaborations are also actively pursued with experimental groups inside and outside ISSP.

部門主任 加藤 岳生
Leader KATO, Takeo

加藤研究室 Kato Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 メゾスコピック系の量子輸送現象
Transport phenomena in mesoscopic systems
- 2 相互作用する電子系の物性
Electronic properties of interacting electron systems
- 3 スピントロニクス素子の基礎理論
Fundamental theory of spintronics
- 4 非平衡統計力学
Non-equilibrium statistical mechanics



准教授 加藤 岳生
Associate Professor KATO, Takeo

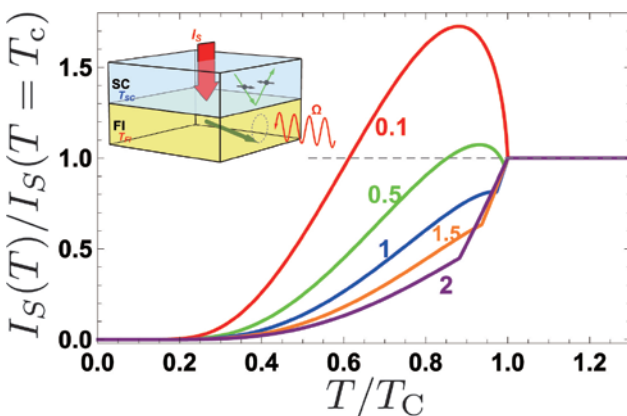
専攻 Course
理学系物理学
Phys., Sci.



助教 藤井 達也
Research Associate
FUJII, Tatsuya

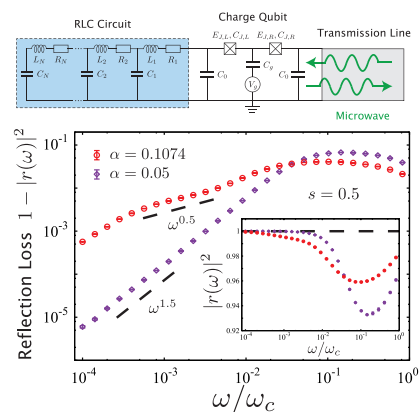
ナノスケール素子の量子輸送特性について、さまざまな手法を使った理論研究を行っている。この研究分野は古くからメゾスコピック系と呼ばれ、電子の量子力学的な性質に着目した研究が活発に行われてきた。最近では、非平衡多体現象・非平衡ノイズ・強外場駆動現象・スピントロニクスなどの新しい視点で研究が進展しており、本研究室ではこれらの進展に対応して、非平衡統計力学や場の量子論、多体電子論などを用いた幅広い理論研究を行っている。最近の研究例としては、ナノスケール素子の断熱ポンピング、磁性体・金属界面でのスピン輸送、超伝導回路の熱輸送現象における多体効果、近藤量子ドットの非平衡輸送特性、固体中の高調波発生などが挙げられる。物性研究所内の実験グループとの共同研究も進めている。

We are conducting theoretical research on quantum transport properties of nanoscale devices using various methods. In the research field that is called mesoscopic systems for long time, there has been active research focusing on the quantum mechanical properties of electrons. In recent years, research has been advanced from new viewpoints such as non-equilibrium many-body effects, non-equilibrium noise, strong field driving phenomena, and spintronics. In response to these advances, our laboratory is conducting a wide range of theoretical research using non-equilibrium statistical mechanics, quantum field theory, and many-body theory. Recent examples include adiabatic pumping of nanoscale devices, spin transport at magnetic junctions, many-body effects in thermal transport phenomena in superconducting circuits, non-equilibrium transport properties of Kondo quantum dots, and high harmonic generation in solids. In addition, we are conducting various physical phenomena in condensed matter physics. The joint research with the experiment groups in Institute for Solid State Physics is also advanced.



スピンプンピングによって生じる強磁性絶縁体から超伝導体へのスピンの温度変化。挿入図：強磁性絶縁体-超伝導体接合の模式図。

Main panel: Temperature dependence of a spin current induced by spin pumping from a ferromagnetic insulator to a superconductor. Inset: A schematic of a ferromagnetic insulator/superconductor junction.



上図：サブオーミック熱浴と結合した超伝導量子ビットを実現する超伝導回路。下図：マイクロ波の散乱ロスがマイクロ波の振動数の関数としてプロットしたもの。αは量子ビットと熱浴の結合定数。

Upper panel: A superconducting circuit for realizing a superconducting qubit system coupled to the subohmic bath. Lower panel: A numerical result for the microwave reflection loss as a function of the frequency. α is the dimensionless qubit-reservoir coupling.



常次研究室 Tsunetsugu Group

研究テーマ Research Subjects

- 1 d 電子、f 電子化合物など強相関電子系の電子状態と異方的超伝導
Electronic states and unconventional superconductivity in strongly correlated systems with *d*- or *f*-electrons
- 2 フラストレーション系の統計力学
Statistical physics of frustrated systems
- 3 量子磁性体の新奇量子相の理論
Theory of novel phases in quantum magnets
- 4 量子系の非平衡ダイナミクス
Nonequilibrium dynamics of quantum systems



教授 常次 宏一
Professor TSUNETSUGU, Hirokazu

専攻 Course
理学系物理学
Phys., Sci.



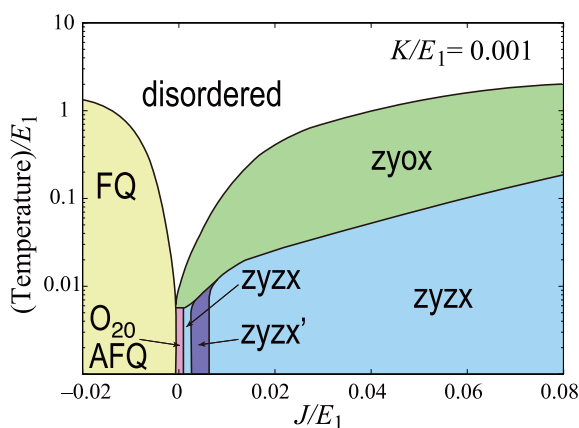
助教 池田 達彦
Research Associate
IKEDA, Tatsuhiko

遷移金属化合物、希土類・アクチノイド化合物などの電子間クーロン相互作用が強い強相関電子系の物性の理論を研究している。これら強相関電子系においては、低温で新奇な磁性状態や異方的超伝導、密度波などの多種多様な物性が出現する。これらの複雑な物性の統一的理解を目標とするとともに新しい現象の発見を目指している。

主なテーマは、フラストレーション系や強磁性超伝導体などのスピン・電荷・軌道の複合自由度を持つ系における新しいタイプの量子秩序や量子ゆらぎである。秩序と臨界現象の特徴、電子状態や輸送現象をはじめとするダイナミクスがどのような影響を受けるのかを調べている。また、周期的振動外場下などの非平衡ダイナミクスにおける、熱浴との結合による緩和過程の研究もおこなっている。

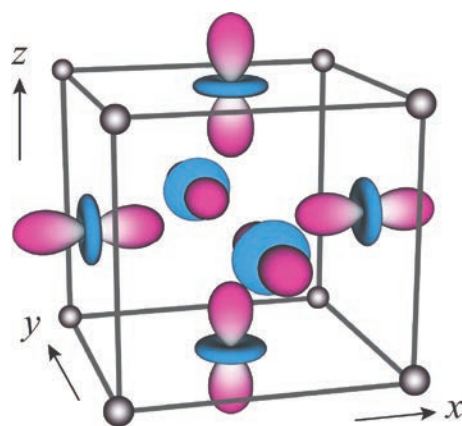
Strongly correlated electron systems, particularly transition metal compounds and rare-earth or actinide compounds are the main subjects of our theoretical research. In these systems, strong electron-electron interactions lead to a variety of interesting phenomena emerging at low temperatures, such as various types of exotic magnetic orders, unconventional superconductivity and density waves. We aim to establish a unified theory for those complex properties and also predict novel phenomena in those systems.

Targets of our recent study include novel types of quantum order and quantum fluctuations in frustrated spin and strongly correlated electronic systems with multiple degrees of freedom such as charge, spin, and orbital. In these systems, many soft modes of fluctuations are coupled to each other, and this affects the nature of quantum phase transitions, as well as electronic states and dynamical properties including transport phenomena. We also study nonequilibrium dynamics, particularly systems periodically driven by an oscillating external field, and investigate relaxation processes due to coupling with a reservoir.



面心立方格子構造をもつ重い電子系の電気四重極秩序相図。J、Kは最近接サイト間の等方的、非等方的相互作用。E₁はエネルギーの単位で一重項励起エネルギーに対応。

Phase diagram of electric quadrupole orders in heavy-fermion systems with fcc structure. J and K are isotropic and anisotropic couplings, respectively, between nearest-neighbor sites. E₁ is the energy unit corresponding to singlet excitation.



部分秩序 zyx 相における電気四極子の空間配置。立方体単位胞の頂点サイトにおいては四極子モーメントが消失している。

Spatial configuration of electric quadrupoles in the partially ordered zyx phase. Quadrupole moments vanish on the corner sites in the cubic unit cell.



https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/organization/labs/tsunetsugu_group.html

楠瀬研究室 Kusunose Group



客員教授 楠瀬 博明
Visiting Professor KUSUNOSE, Hiroaki

近年、特徴的な結晶構造における電子の軌道とスピンのエンタングル状態に由来した様々な交差相関応答、輸送現象、光学応答や隠れた電子秩序の研究が広く行われている。特に、カイラル物質は格子と電子の複合自由度が本質的な役割を果たす系であり、電気分極のような極性量とスピンのような軸性量の変換が生じる興味深い特性を示す。本研究室では、結晶構造の特徴を取り入れて、多数の電子自由度からなる系を系統的に解析するため、群論の表現論を駆使した電子多極子基底の方法を発展させている。本手法を用いて、カイラル物質特有のフォノンと電子系の結合を明らかにし、それに基づくフォノンとスピンの変換といった交差相関現象の起源を微視的に明らかにすることを目指す。

Entanglement among electronic orbitals and spins in specific crystal structures has been extensively studied as the origins of various cross-correlated and transport phenomena, optical responses, and hidden electronic orderings. In particular, chiral materials are characterized by combined electronic and lattice degrees of freedom through time-reversal even pseudoscalar quantity, and they are expected to show parity conversion between polar and axial physical quantities such as electric polarization and spin moment. We have developed a methodology of a symmetry-adapted multipole basis set in order to describe systematically and intuitively complicated electronic degrees of freedom in specific crystal structures and associated physical responses. By extending the methodology to electron-lattice systems, we investigate essential electron-phonon couplings in chiral materials, especially between chiral phonon and spin degrees of freedom at a microscopic level. Based on the essential couplings, we elucidate related cross-correlated phenomena such as a conversion between phonon and spin degrees of freedom.